




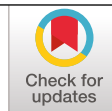


CARACTERIZACIÓN DEL TIEMPO DE CONSERVACIÓN DE CAFÉ EXCELSO EMPACADO AL VACÍO EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Paola Pabón Usaquén **, Claudia Patricia Gallego Agudelo **,
Claudia Rocío Gómez Parra **, Beatriz Eugenia Mira Rada ***

Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C.P., Gómez, C. R., & Mira-Rada, B.E. (2025). Caracterización del tiempo de conservación de café excelso empacado al vacío en diferentes condiciones de almacenamiento. *Revista Cenicafé*, 76(1), e76102. <https://doi.org/10.38141/10778/76102>



El almacenamiento del café es una etapa clave en la conservación de las características físicas del grano y sensoriales de la bebida, consolidadas en las etapas de cultivo y procesamiento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la producción del alimento hasta su consumo estimado. Esta investigación evaluó el efecto del empaque al vacío en la vida útil del café verde almacenado durante 365 días, en cuatro condiciones contrastantes de almacenamiento. Adicionalmente, se definió su vida útil secundaria durante los 90 días posteriores a la pérdida de vacío, una vez abierto el empaque. En el almacenamiento primario del café excelso empacado al vacío hubo un incremento del contenido de humedad desde el 11,90% hasta 12,50% y de actividad de agua de 0,6146 hasta 0,6709 para el sitio con mayor temperatura (T) y humedad relativa (HR). En el sitio de almacenamiento primario con menor T y menor HR se conservó la calidad sensorial hasta los 365 días. Con respecto al almacenamiento secundario, las variaciones en la aparición de defectos dependieron de los cambios sufridos por el grano en las condiciones iniciales de almacenamiento primario. El café almacenado a mayor temperatura, a partir de los 120 días, presentó incremento del 66,66% de las muestras con defectos sensoriales, y a partir de los 240 días el 100%. Por medio del análisis de riesgos de Weibull se estimó una SL, para el café empacado al vacío y almacenado en condiciones de T=20°C y HR=80%, de 248 días.

Palabras clave: Actividad de agua, calidad, empaque, humedad relativa, vacío, vida útil.

CHARACTERIZATION OF THE SHELF LIFE OF VACUUM-PACKED EXCELSCO COFFEE UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS

The storage of coffee is a critical stage for preserving the physical and sensory characteristics of the beverage, which are established during the cultivation and processing stages. Shelf life (SL) refers to the time elapsed between the production of a food product and its consumption, during which its physical, chemical, or microbiological properties remain unaltered under specified conditions. This study focused on characterizing and describing the period during which vacuum-packed green coffee retains its quality properties under four contrasting storage conditions over 365 days. Additionally, the secondary shelf life (SSL) was determined after vacuum loss, simulating a storage period of 90 days. During vacuum-packaged primary storage, an increase in moisture content from 11.90% to 12.50% and in water activity from 0.6146 to 0.6709 was observed at the site with the highest storage temperature (T) and relative humidity (RH). Conversely, in the storage site with lower T and RH, sensory quality was preserved for up to 365 days. In secondary storage, the appearance of defects depended on the changes in the beans caused by the initial primary storage conditions. Coffee stored at higher temperatures showed a progressive increase in sensory defects, with 66.66% of the samples exhibiting defects after 120 days and 100% after 240 days. Using Weibull risk analysis, the SL of vacuum-packed coffee stored at T=20 °C and RH=80% was estimated to be 248 days.

Keywords: water activity, quality, packaging, humidity, vacuum, shelf life.

* Investigador Científico II. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>

** Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>, <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055> y <https://orcid.org/0000-0002-0685-8337>

*** Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-5683-7190>



El almacenamiento del café es una etapa clave en la conservación de las características físicas del grano y sensoriales de la bebida, consolidadas en las etapas de cultivo y procesamiento del fruto. Los granos de café, aún después del proceso de secado, continúan con actividades metabólicas como la respiración, donde consumen oxígeno, carbohidratos, grasas y proteínas, lo que origina la producción de dióxido de carbono y calor (Borém et al., 2021). Las condiciones óptimas del entorno de almacenamiento, es decir, el empaque, la temperatura y la humedad relativa del ambiente pueden reducir el riesgo de pérdida de calidad y evitar el incremento de la actividad microbiana que afecta la vida útil del café (Demianová et al., 2023); esta última, está íntimamente relacionada con la respiración del grano. La pérdida de vida útil, entendida como el envejecimiento del grano y pérdida de la calidad de la bebida, se da en ambientes de alta temperatura y alta humedad relativa, que sumadas al uso de empaques permeables, favorece el incremento de la respiración (Borém et al., 2021). Aunque hasta el momento no se cuenta con un método específico que preserve a largo plazo la calidad sensorial inicial del café, es necesario el desarrollo de alternativas que minimicen los cambios tanto físicos como químicos antes que afecten la calidad sensorial (Aung Moon et al., 2022).

La vida útil de los alimentos (SL por sus siglas en inglés Shelf Life), se define como el tiempo transcurrido entre la producción y el empaque hasta su consumo. Bajo ciertas condiciones específicas de almacenamiento, las características físicas, químicas y microbiológicas del alimento no se ven afectadas, manteniendo su vida útil. Por su parte, la vida útil secundaria (SSL por sus siglas en inglés Secondary Shelf Life), representa el tiempo transcurrido desde la apertura del empaque hasta el consumo total, período durante el cual el alimento no experimenta

pérdidas significativas de calidad (Orfanou et al., 2019).

En el almacenamiento de los granos de café verde se producen cambios en los compuestos químicos que afectan la calidad sensorial del producto. El deterioro del grano es el resultado de procesos oxidativos de carbohidratos, lípidos y proteínas (Borém et al., 2021). Durante el almacenamiento, el café pergamino presenta una menor afectación por las condiciones del entorno en comparación con el café trillado; este último, a su vez, presenta una mejor preservación de sus características iniciales cuando está en temperaturas de refrigeración (Abreu et al., 2023). Por su parte, la vida útil del café verde para tueste (SL) y el café tostado para preparación de la bebida (SSL), se ve afectada por diversas reacciones de pérdida de calidad, que se producen con mayor rapidez debido a la interacción del grano con el oxígeno, la humedad y la temperatura (Orfanou et al., 2019).

La velocidad de los cambios químicos en los granos de café verde durante el almacenamiento, están influenciados por la calidad inicial y el método de procesamiento del fruto (vía seca o vía húmeda), la temperatura ambiental, la humedad relativa y la permeabilidad del empaque (Borém et al., 2021). Condiciones de temperatura del ambiente y de humedad relativa sin control reducen la calidad del café natural desde el primer día y en el café lavado a partir de los tres meses. Así también, un ambiente refrigerado conserva la calidad hasta los 12 meses (Abreu et al., 2023). La refrigeración es un método eficaz para la preservación de las características iniciales de los alimentos puesto que desacelera la respiración, el proceso de senescencia y las alteraciones químicas y enzimáticas, controlando el avance del deterioro del grano (Borém et al., 2023). En el almacenamiento de granos de café verde un ambiente refrigerado proporciona

efectos favorables, como resultado de mayores concentraciones de enzimas catalasa, peroxidasa y alcohol deshidrogenasa (Abreu et al., 2017).

En la cadena de comercialización, el uso de bolsas herméticas ha presentado una tendencia creciente en los últimos años. Diversos autores reportan que su uso puede mantener la calidad del café verde en almacenamiento hasta por siete meses (Donovan et al., 2019). No hay diferencia estadística entre diversos tipos de bolsas (dos o tres capas) (Borém et al., 2021). Durante los tres primeros meses de almacenamiento, Borém et al. (2021), no observaron diferencias sensoriales entre muestras de café natural y honey empacadas en empaques permeables e impermeables. A partir del sexto mes se registraron diferencias y estuvieron asociadas al tipo de procesamiento, resultando más afectada la calidad del café natural que la del café honey. Los empaques de alta permeabilidad como el yute o el fique, permiten el contacto de los granos con el oxígeno, al tiempo que favorecen una mayor interacción con las condiciones del ambiente, lo que puede generar variación del contenido de humedad del café, aumento en la respiración y actividad metabólica, deteriorando el sabor y generando sabores a madera, cartón y yute (Borém et al., 2023).

Borém et al. (2021), reportaron que la humedad de granos de café empacados en bolsas de papel, aumenta durante el almacenamiento y permanece estable en los granos empacados en bolsas herméticas. Ambientes de almacenamiento con temperaturas entre 20°C y 35°C y humedad relativa entre 52% y 75% producen un aumento del 4% en el contenido de humedad del grano y su correspondiente pérdida de color (Palacios-Cabrera et al., 2007). En el grano, contenidos de humedad superiores al 11,5%, aumentan la tasa respiratoria, provocando cambios químicos a partir de la oxidación de carbohidratos,

lípidos y proteínas. Las condiciones que propician una mayor actividad metabólica y una mayor tasa de respiración, implican un uso de compuestos como los azúcares que son precursores del aroma y sabor de la bebida. Sin su presencia, dominan los carbohidratos de alto peso molecular como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina, esta podría ser la razón por la que los descriptores sensoriales del café reposado se relacionan con el papel y la madera (Abreu et al., 2023). Para la calidad sensorial, independientemente del empaque utilizado, a partir de los seis meses aumenta la percepción a café reposado (sabor a madera) en los cafés almacenados en condiciones sin control de temperatura (Borém et al., 2023).

En esta investigación se evaluó el efecto del empaque al vacío en la vida útil del café verde (SL) almacenado durante 365 días en cuatro condiciones contrastantes de almacenamiento (temperaturas y humedades relativas) y se definió su vida útil secundaria (SSL) cuando el empaque era abierto. Después de perdido el vacío, las muestras de café se almacenaron y se evaluaron durante tres meses posteriores para identificar el tiempo en el cual se deteriora la calidad sensorial y se define la aparición del defecto reposo (SSL).

MATERIALES Y MÉTODOS

Café. Frutos de café de la especie *Coffea arabica* L., variedad Castillo®, provenientes de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), se recolectaron en la cosecha principal del año 2021, asegurando la máxima concentración de café maduro (1.500 kg). Se realizó un procesamiento estándar, con un porcentaje de frutos verdes inferior al 2,5%, en un tiempo inferior a seis horas después de la recolección, se eliminó el exocarpio por medio de una despulpadora 2.500 horizontal con zaranda circular (JM Estrada, Colombia). Posteriormente, se removió

el mucílago mediante fermentación espontánea, con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro[®], finalizando con secado mecánico, con temperatura de 45°C hasta alcanzar un contenido de humedad entre el 10,0% y el 11,5%. Se realizó la trilla de café y selección de la almendra sana, eliminando los defectos físicos. El café utilizado para los tratamientos fue el retenido por encima de la malla número 14/64.

Almacenamiento primario. El efecto de la conservación de la calidad inicial del café (SL) en el empaque al vacío se evaluó en cuatro diferentes condiciones de almacenamiento, durante 365 días. El café excelso se distribuyó en 48 unidades experimentales, correspondientes a cuatro tiempos de muestreo (60, 120, 240 y 365 días), por cuatro sitios de muestreo y tres repeticiones (Figura 1). Adicionalmente se tomó una muestra en el tiempo cero para la caracterización inicial de la calidad del café que iba a ser sometido al almacenamiento. El material de empaque utilizado fue polietileno de baja densidad y poliamida (nylon). El oxígeno se redujo aplicando vacío parcial a través del equipo Minipack[®]-torre. Los sitios de almacenamiento inicial fueron Alto de Letras (Manizales) (LT), cuarto frío (Cenicafé) (CF), Chinchiná (NA) y Santa Marta (SM). Las condiciones promedio de temperatura y humedad relativa para los sitios fueron: 10,3°C, 11,3°C, 22,6°C y 28,0°C y 72%, 77%, 81% y 80% respectivamente. Las características de calidad del grano de café del tiempo final en el almacenamiento primario corresponden al tiempo inicial (tiempo cero) del almacenamiento secundario.

Almacenamiento secundario. Posterior a los cuatros tiempos de almacenamiento inicial (60, 120, 240 y 365 días) de las muestras empacadas al vacío, se abrió el empaque y se tomaron las muestras de café a las cuáles se les realizaron los respectivos análisis

de calidad. Estos resultados configuraron las características del tiempo cero del almacenamiento secundario (Figura 1). Posterior a esto, la unidad experimental se dividió en tres sub-muestras, que fueron almacenadas en empaque plástico hermético (doble barrera de polietileno de alta y baja densidad). Estas sub-muestras se analizaron a los 30, 60 y 90 días después de eliminado el vacío. Las condiciones generales de almacenamiento fueron temperatura ambiental de 18°C y humedad relativa de 60%. Lo anterior configuró el almacenamiento secundario del café y para estas muestras se estimó la vida útil secundaria (SSL).

Calidad física. De cada unidad experimental se tomó una muestra compuesta para la determinación del contenido de humedad, actividad de agua y colorimetría. El contenido de humedad se verificó por el método directo estándar, siguiendo los procedimientos de la norma ISO 6673 a 105°C (International Organization for Standardization, 2003). Para cada muestra se tomó el promedio de dos mediciones tanto de actividad de agua como para su respectivo contenido de humedad.

La actividad de agua se determinó con el equipo Lab Master Neo (Novasina, Alemania), con control de temperatura de medición (25°C). Los valores se determinaron mediante el método manual, donde el equilibrio del valor se determina teniendo como base la estabilidad de la lectura, lográndose cuando la variación no superaba $\pm 0,003$ durante dos minutos.

El color de los granos de café se obtuvo cuantitativamente con la escala CIEL*a*b* con el equipo Chroma Meter CR410 (Konica Minolta, Japón). El modelo de color define tres parámetros: el primero es la coordenada L* que representa la luminosidad del color, siendo 0 negro y 100 blanco; la segunda

coordinada es la a^* que indica la posición entre rojo y verde, valores negativos indican verde mientras que valores positivos rojo y por último la coordenada b^* que representa el cambio de azul (valores negativos) a amarillo (valores positivos).

Calidad sensorial. Para el análisis sensorial del café se utilizó el protocolo de la Specialty Coffee Association (2015), con cinco catadores certificados Q-Grader por el CQI (Coffee Quality Institute). La metodología incluye el protocolo de preparación de la muestra para el análisis: proporción de café/agua, tipo de molienda, temperatura y calidad del agua, además de temperaturas de análisis. Los catadores registraron diez atributos del sabor del café entre los que se encuentran: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador y defectos sensoriales. El puntaje total se configura por la sumatoria de los valores de los atributos positivos disminuyendo el valor del defecto sensorial. Los atributos son evaluados en una escala de diez puntos representando el nivel de calidad en una tabla entre seis y nueve puntos. Puntajes totales

superiores a 80 puntos clasifican el café como de especialidad por calidad sensorial.

Composición química. La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano), con el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS. Se pesaron 110 g de granos de café entero y se dispusieron en dos celdas rectangulares. Las muestras fueron leídas en un rango de longitud de onda de 400 nm – 2.490 nm. A través de modelos de calibración previamente desarrollados y con la información espectral de las muestras, se procedió a realizar la determinación (%) de los siguientes compuestos químicos: composición de ácidos grasos, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales y sacarosa presentes en el café almendra verde. El error relativo de predicción, que permite conocer la diferencia entre el valor real (obtenido por métodos analíticos de referencia) y el valor obtenido por la técnica NIRS, reportado para estos modelos son: cafeína 0,015%, trigonelina 0,027%, ácidos clorogénicos totales 0,007%, lípidos totales 0,003% y sacarosa 0,007% (Gómez et al., 2023).

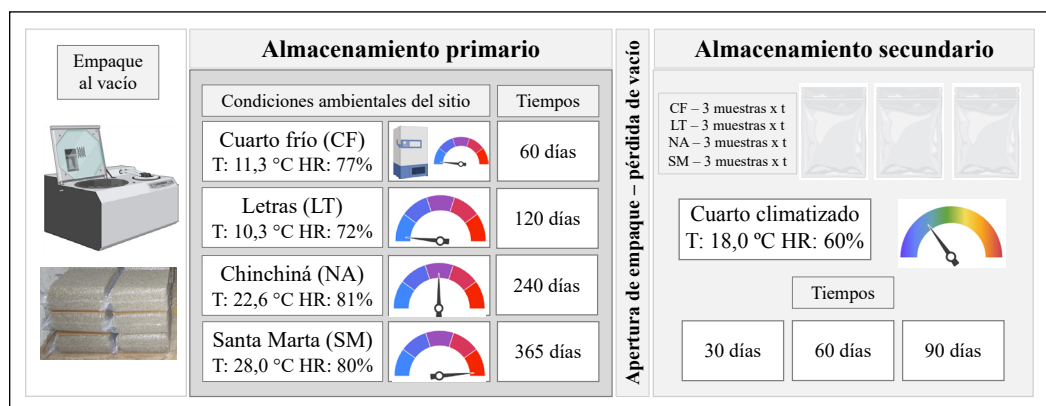


Figura 1. Metodología de los almacenamientos primario y secundario. T: temperatura, HR: humedad relativa, t: tiempo.

Estimación de la vida útil mediante el análisis de riesgos de Weibull. El análisis de riesgos de Weibull es un método gráfico utilizado para determinar la vida útil de los alimentos (Fu & Labuza, 1997). En este método, la función de riesgo acumulativo de la distribución de Weibull se utiliza de la siguiente manera (Ecuación <1>) (Orfanou et al., 2019).

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad <1>$$

Donde $H(t)$ es la función de riesgo acumulativa, $h(x)$ es la función de riesgo, t es el tiempo, α es el parámetro de escala y β es el parámetro de forma. Cuando el logaritmo del tiempo $\log t$ se representa gráficamente frente al logaritmo de los valores de riesgo acumulado $\log \Sigma H$, la ecuación resultante es lineal (Ecuación <2>) (Orfanou et al., 2019).

$$\log t = \left(\frac{1}{\beta}\right) \log \Sigma H + \log \alpha \quad <2>$$

La vida útil puede calcularse como el tiempo en el que el valor acumulativo de peligro es del 69,3%, lo que corresponde al 50% de probabilidad de disminución de un atributo de calidad específico (Fu & Labuza, 1997). La distribución de Weibull es asimétrica cuando $2 < \beta < 4$, lo que permite una mejor estimación de la vida útil (Cardelli & Labuza, 2001). Se utilizó el panel de catación para identificar la presencia del defecto sensorial reposo, pues este define la aceptabilidad del producto posterior al almacenamiento tanto primario (empacado al vacío hasta 365 días) como secundario (muestra proveniente de empaque al vacío en diferentes sitios y después abierto y monitoreado hasta 90 días). Con los resultados de los analistas sensoriales se clasificaron las muestras con y sin defectos

sensoriales (aceptables y no aceptables) por sitio y tiempo de muestreo.

Se creó una tabla de clasificación de peligrosidad junto con los valores H de peligrosidad y ΣH de peligrosidad acumulada. Los valores de peligro resultaron de dividir 100 por el rango dado a cada muestra no aceptable. El logaritmo del tiempo $\log t$ se representó gráficamente frente al logaritmo de los valores de peligro acumulados $\log \Sigma H$ y se calculó el tiempo de conservación para un valor de peligro acumulado del 69,3% (50% de probabilidad de que los analistas que califiquen las muestras como no aceptables) (Orfanou et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almacenamiento primario

Contenido de humedad y actividad de agua.

El contenido inicial promedio de humedad de los granos de café fue de 11,9%. El contenido mínimo se encontró en Santa Marta (SM) con 60 días de almacenamiento con un valor de 11,68%, por otro lado, el valor promedio máximo se encontró en los 240 días en los sitios de almacenamiento cuarto frío Cenicafé (CF) y Chinchiná (NA) con el mismo valor promedio de 12,50%. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 11,74%, 11,70%, 11,92% y 11,99% para los tiempos de almacenamiento primario de 60, 120, 240 y 365 días, respectivamente. Para estos mismos días el almacenamiento en el CF evidenció valores de 11,86%, 11,98%, 12,50% y 11,87%, el sitio NA 11,89%, 12,09%, 12,50% y 12,25% y el sitio SM 11,68%, 11,83%, 12,03% y 12,06%. Aunque se evidencia un incremento del porcentaje inicial hasta valores de 12,50% debido a la naturaleza higroscópica de los granos de café que favorece el intercambio del vapor de agua con el ambiente cuando la

bolsa es permeable, se observa el efecto del empaque en la conservación de la humedad, aun en condiciones de alta humedad relativa del ambiente como es Santa Marta (81%). Palacios-Cabrera et al. (2007) estudiaron el efecto de la temperatura y la humedad relativa (HR) durante el transporte del café verde en el contenido de humedad, y se comprobó que aumentos del 5% al 10% en la HR conducen a un aumento del 3% en el contenido de humedad de los granos.

El valor promedio de la actividad de agua correspondiente al contenido de humedad de 11,9% fue de 0,6146. Las variaciones del valor de la actividad de agua durante los cuatro tiempos de muestreo (60, 120, 240 y 365 días) para los sitios fue: LT: 0,6135, 0,5966, 0,6261 y 0,6210; CF: 0,6222, 0,5962, 0,6243 y 0,6027; NA: 0,6178, 0,6126, 0,6382 y 0,6271; y SM: 0,6280, 0,6324, 0,6566 y 0,6709. El valor mínimo de 0,5895 se reportó en Letras en el segundo tiempo de muestreo (120 días), correspondiente a una humedad de 11,66%. Por otro lado, el valor máximo se encontró en el sitio Santa Marta en el último muestreo (365 días) con 0,6819 correspondiente a un contenido de humedad del grano de 12,14%. Los contenidos de humedad superiores al 11,5% aumentan la tasa respiratoria de los granos generando cambios en la composición química (Ribeiro et al., 2011). Borém et al. (2021), contrastaron los contenidos de humedad de los granos empacados en bolsas de papel y en bolsas herméticas, evidenciando que las primeras aumentaron su contenido durante 18 meses de almacenamiento, mientras que en las segundas el contenido de humedad permaneció estable, lo que indicó la eficacia de las barreras de vapor de agua de estos empaques.

Colorimetría. La coordenada L^* es un valor que indica el cambio del negro al blanco, este cambio en el grano de café puede indicar el blanqueamiento. En la Figura 2 se presentan

los valores promedio de las coordenadas L^* , a^* y b^* , para cada sitio y por cada período. El valor máximo promedio de L^* fue de 83,93 y se encontró en Santa Marta a los 365 días de almacenamiento. La diferencia máxima entre el valor inicial y final de L^* se reporta en este mismo sitio con un aumento de 7,01. Los valores máximos y mínimos de la coordenada de color a^* se encontraron en el sitio de almacenamiento Santa Marta, con valores de -1,50 y -2,64, en los días 60 y 365 días, respectivamente. La coordenada b^* que indica el cambio hacia el color amarillo, presentó los valores máximos en el sitio Santa Marta, incrementado desde valores de 13,18, a los 60 días, a valores de 18,90 en el último muestreo, implicando un aumento del 43,39% en esta variable. Lo anterior podría indicar que, en el almacenamiento de granos, aún en empaque de alta barrera y vacío, las condiciones de alta humedad y alta temperatura favorecen el cambio del color del grano. Anokye-Bempah et al. (2023) reportan que el café verde empacado en envases herméticos presenta valores de L^* más bajos y con menor variabilidad en comparación con el café verde envasado en sacos de yute, indicando un blanqueamiento considerable del grano cuando es empacado en este último. Las menores variaciones en los valores de L^* observadas en el café empacado en envases herméticos indican que estos tratamientos mantuvieron el color del café verde durante todo el experimento.

Calidad sensorial. La calidad sensorial del café antes del almacenamiento primario, obtuvo un puntaje total SCA de 81,92. Durante los cuatro muestreos posteriores, el 64,58% de las muestras no presentaron defectos sensoriales con un promedio de puntaje total SCA de 80,89. Posterior al almacenamiento primario, el 4,16% de las muestras presentaron defecto terroso y el 22,91% reposo. Para el sitio de almacenamiento LT (Letras), durante los cuatro tiempos de muestreo en el almacenamiento

	<i>Tiempo (0)</i>			<i>60 días</i>			<i>120 días</i>			<i>240 días</i>			<i>365 días</i>		
<i>Letras (LT)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	74,49	-2,23	12,29	74,68	-2,44	12,07	74,66	-2,37	12,34	74,24	-2,54	12,71	73,24	-1,96	12,44
<i>Cuarto frío (CF)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	74,49	-2,23	12,29	73,34	-2,47	12,13	74,65	-2,48	12,45	67,39	-2,52	12,48	74,06	-2,44	12,70
<i>Chinchiná (NA)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	74,49	-2,23	12,29	75,25	-2,55	12,57	75,66	-2,38	12,96	76,83	-2,57	12,69	77,46	-2,33	14,05
<i>Santa Marta (SM)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	74,49	-2,23	12,29	76,91	-2,64	13,18	78,22	-2,45	14,36	81,76	-2,15	14,92	83,93	-1,50	18,90

Figura 2. Colorimetría del café durante el almacenamiento primario

primario, la calidad sensorial se conservó hasta el día 365 sin presentar defectos sensoriales. Para el CF en el muestreo correspondiente a 365 días de almacenamiento se presentó defecto terroso en el 66,66% de las muestras. Un comportamiento similar se presentó con las muestras de sitio NA; en este mismo tiempo de muestreo se presentó el defecto reposo en el 100% de las muestras. Por otro lado, en el sitio de almacenamiento SM a partir del muestreo de los 120 días, se observó un incremento del porcentaje de muestras con defectos sensoriales con 66,66% y en los dos siguientes (240 y 365 días) con el 100% de las muestras con defecto reposo. Las condiciones que propician una mayor tasa de respiración del grano y una mayor actividad metabólica, favorecen el consumo de diferentes compuestos orgánicos, entre ellos, los carbohidratos de bajo peso molecular, como los azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa). Una disminución de estos compuestos precursores del aroma y sabor de la bebida, promueven los sabores provenientes de carbohidratos de alto peso molecular como la hemicelulosa, celulosa y lignina, relacionados con el papel y la madera característicos y discriminantes del café reposado (Abreu et al., 2023; Zarebska et al., 2022).

El mayor porcentaje de defectos en el sitio de almacenamiento SM puede estar relacionado con la mayor temperatura del ambiente de 28,0°C en comparación con la temperatura del sitio LT de 10,3°C donde la calidad se conservó durante los 365 días de almacenamiento primario. Aung Moon et al. (2022) reportan que mayores temperaturas de almacenamiento influyen significativamente en la disminución de la calidad del café verde; adicionalmente, reportan una mejor conservación de la calidad del café al ser empacado en bolsas Grainpro (GP) en comparación con el conservado en costales tejidos de polipropileno (estopa). Por su parte, Abreu et al. (2019) reportan que el café natural almacenado durante 18 meses en empaque de alta barrera y al vacío conservaban sus cualidades sensorial iniciales y sus puntuaciones eran superiores a 80 puntos después de transcurrido este tiempo.

Composición química. El ácido graso palmítico presentó un valor de 42,06% en el tiempo cero y la mayor disminución se observó en el sitio CF a los 240 días con un valor de 38,64%, mientras que la menor disminución se reportó para el sitio SM a los 365 días con un valor de 40,15%. El ácido linoleico

en el tiempo cero presentó un valor promedio de 35,05% y durante los diferentes tiempos de almacenamiento presentó disminuciones, siendo la mayor en el muestreo de 365 días, en el sitio SM con un valor de 31,60%. El ácido oleico (monoinsaturado) presentó un comportamiento diferente al linoleico, pues sus valores incrementaron y el valor máximo promedio se observó en el sitio LT en el día 120 con un valor de 11,09%. Los diversos cambios en los compuestos de la fracción lipídica del grano pueden indicar el deterioro del mismo. Durante el almacenamiento, la hidrólisis de la materia grasa comienza antes que la de los carbohidratos o las proteínas. La liberación de ácidos grasos, indica pérdida de la integridad de las paredes celulares y las cadenas de aquellos insaturados pueden ser fácilmente oxidadas a hidroperóxidos, que posteriormente se convierten en compuestos de bajo peso molecular que generan sabores desagradables (Borém et al., 2019; Coradi et al., 2007; Rendón et al., 2014; Toci et al., 2013).

El ácido esteárico presentó un valor promedio de 7,82% en el café antes del almacenamiento; este valor disminuyó en todos los sitios y en los diferentes tiempos de muestreo. La menor disminución se evidenció en el sitio SM en el día 365 con un valor de 7,23%. Por su parte, el ácido araquídico, que es el ácido graso con menor porcentaje en la composición total de los ácidos grasos libres, presentó un valor inicial de 3,26%. Al igual que el esteárico, el ácido araquídico disminuyó en los tratamientos evaluados, pero a diferencia de este, la mayor disminución se presentó en el sitio SM con 365 días. Los granos de café verde tienen un bajo contenido de humedad y un alto contenido de lípidos, compuestos por una alta proporción de ácidos grasos insaturados en comparación con los ácidos grasos saturados. Lo anterior favorece la oxidación lipídica que produce olores rancios

y repercute negativamente en la calidad (Aung Moon et al., 2022). Las temperaturas más altas y el mayor tiempo de almacenamiento provocan un mayor grado de oxidación de los lípidos y cambios en la calidad.

El contenido de sacarosa inicia con valores de 8,02% y disminuye a valores de 7,41% en los sitios CF y LT, de 7,49% en NA y de 7,44% en SM, en el día 365 de almacenamiento. La cafeína y la trigonelina presentaron ligeros incrementos durante el almacenamiento y para ambos el mayor valor se reportó en el sitio SM a los 365 días de muestreo con valores de 1,39% y 1,08%. Los ácidos clorogénicos totales, al igual que los alcaloides, presentaron incrementos en su valor para todos los tratamientos evaluados. El menor incremento se observó en el tiempo de 365 días en el sitio Naranjal (NA) con un valor de 6,04% y el mayor valor se obtuvo en el sitio Santa Marta (SM) con 6,31%. Para los lípidos se observa el mismo comportamiento que los ácidos clorogénicos totales, un incremento a medida que pasa el tiempo de almacenamiento. El valor inicial fue de 11,26% y este incrementó a valores de 11,55% (CF), 11,41% (LT), 12,19% (NA) y 14,15% (SM). Los mayores incrementos en los contenidos de lípidos totales se reportan en los sitios NA y SM, sitios cuyas condiciones ambientales son de mayor temperatura y humedad relativa. Las atmósferas con mayores concentraciones de dióxido de carbono retardan la disminución del contenido de ácidos de los granos, lo que sugiere que empaques de alta barrera favorecen una mayor preservación del café debido a la conservación de los ácidos orgánicos. Durante el almacenamiento los alcaloides como la cafeína presentan una mayor estabilidad en comparación con los ácidos clorogénicos. Su concentración no presenta cambios asociados al tipo de empaque o la temperatura de almacenamiento, pero su aumento a lo largo del almacenamiento puede deberse a la

pérdida de otros compuestos hidrosolubles. La combinación de bajas temperaturas y envases de alta barrera puede ser ideal para prevenir la oxidación de los ácidos clorogénicos (Borém et al., 2023; Król et al., 2020; Tripetch & Borompichaichartkul, 2019).

Estimación de la vida útil primaria

La vida útil restante de un producto tras la apertura del envase se define como la SSL del producto (Orfanou et al., 2019). La actividad del agua y la temperatura de almacenamiento podrían considerarse los principales factores que afectan a la calidad del café durante el almacenamiento secundario (SSL). El análisis de riesgo y la distribución de probabilidad de Weibull y la evaluación sensorial de las características sensoriales del café pueden utilizarse para evaluar la pérdida de calidad durante el almacenamiento y predecir la vida útil secundaria.

Para la estimación de la vida útil primaria, se construyó la Tabla 1 con el número de calificaciones no aceptables dadas por los analistas sensoriales, debido a la presencia de defectos. Se observa que para los sitios CF (cuarto frío) y NA (Naranjal) las calificaciones negativas aparecen solamente en el último tiempo de muestreo (365 días), mientras que

el sitio LT no presentó muestras con defectos en ninguno de los cuatro tiempos de muestreo. Lo anterior impide que pueda realizarse la estimación del tiempo de vida útil en estos sitios, pues los defectos aparecen en su totalidad en el tiempo final del almacenamiento. Por su lado el sitio SM (Santa Marta) presenta defectos desde el segundo tiempo de muestreo (120 días) hasta el final del almacenamiento primario (Tabla 1).

La Tabla 2 presenta los valores de riesgo acumulados para los días de almacenamiento evaluados. Posteriormente, se graficó el logaritmo del tiempo ($\log(t)$) vs el logaritmo de los valores de riesgo acumulado ($\log(\Sigma H)$) (Figura 3), obteniendo la Ecuación <3>. El factor de forma β , calculado como $1/\text{pendiente}$, tuvo un valor de 2,96, indicando que se encuentra dentro del intervalo no asimétrico necesario para la estimación de la vida útil. El valor crítico estimado para la vida útil primaria, descrito como el momento en que el 50% del panel de catación califican las muestras como no aceptables ($\Sigma H=69,3\%$), para el café empacado al vacío y almacenado en Santa Marta ($T=20^{\circ}\text{C}$ y $HR=80\%$) fue de 248 días.

$$\log(t) = 0,3374 \times \log(69,31) + 1,7743 \quad (R^2 = 0,8186) \quad <3>$$

Tabla 1. Frecuencia de calificaciones negativas en el almacenamiento primario.

Sitio	60 días	120 días	240 días	365 días
CF (Cuarto frío)	0	0	0	10
LT (Letras)	0	0	0	0
NA (Chinchiná)	0	0	0	15
SM (Santa Marta)	0	10	15	15

Tabla 2. Rangos de riesgo de Weibull para café empacado al vacío y almacenamiento primario en SM (Santa Marta).

Rango	Días	H	Sum H
40	120	2,50	2,50
39	120	2,56	5,06
38	120	2,63	7,69
37	120	2,70	10,39
36	120	2,77	13,17
35	120	2,85	16,03
34	120	2,94	18,97
33	120	3,03	22,00
32	120	3,12	25,13
31	120	3,22	28,35
30	240	3,33	31,68
29	240	3,44	35,13
28	240	3,57	38,70
27	240	3,70	42,41
26	240	3,84	46,25
25	240	4,00	50,25
24	240	4,16	54,42
23	240	4,34	58,77
22	240	4,54	63,31
21	240	4,76	68,08
20	240	5,00	73,08
19	240	5,26	78,34
18	240	5,55	83,89
17	240	5,88	89,78
16	240	6,25	96,03
15	365	6,66	102,69
14	365	7,14	109,84
13	365	7,69	117,53
12	365	8,33	125,86
11	365	9,09	134,95
10	365	10,00	144,95
9	365	11,11	156,06
8	365	12,50	168,56
7	365	14,28	182,85
6	365	16,66	199,52
5	365	20,00	219,52
4	365	25,00	244,52
3	365	33,33	277,85
2	365	50,00	327,85
1	365	100,00	427,85

H y ΣH representan los valores de peligro y peligro acumulativo H, respectivamente.

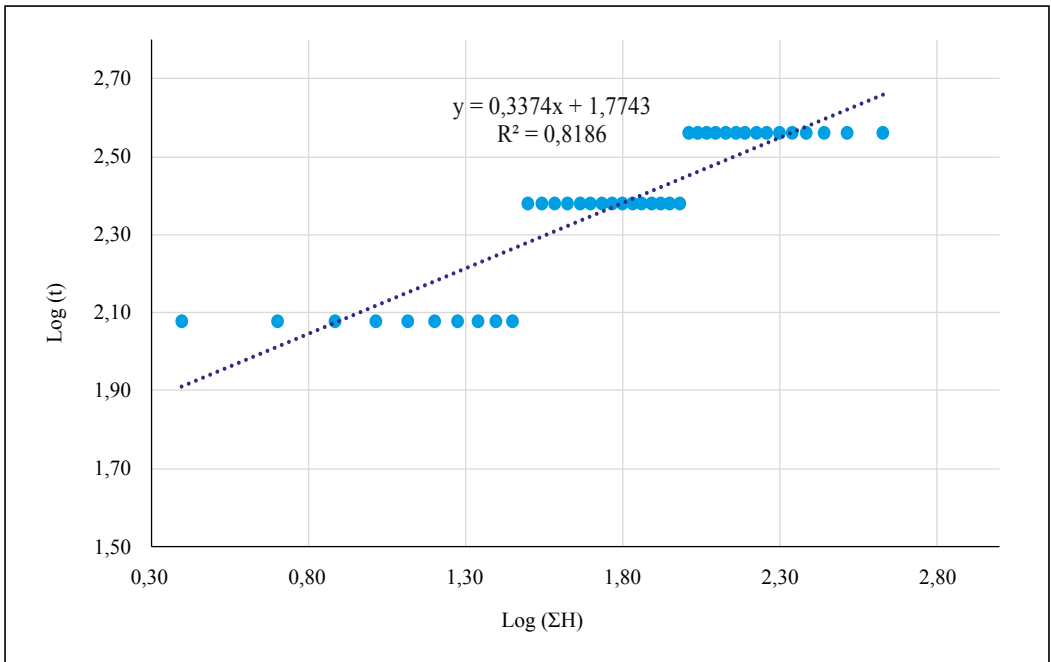


Figura 3. Diagrama de riesgos de Weibull (log t vs con log ΣH) para café empacado al vacío y almacenamiento primario en SM (Santa Marta).

Almacenamiento secundario

Contenido de humedad y actividad de agua.

El contenido inicial de humedad promedio de los granos de café antes de iniciar el almacenamiento secundario fue de 11,99%. El promedio de contenido de humedad de las muestras a los 30, 60 y 90 días fue de 12,17%, 11,91% y 11,87% respectivamente. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 12,16%, 11,90% y 11,84%, para el sitio CF evidenció valores de 12,23%, 11,92% y 11,92%, el sitio NA 12,21%, 11,96% y 11,92% y el sitio SM 12,06%, 11,84% y 11,79%. A pesar de la eficacia de los envases herméticos para proteger el café, existe cierta interacción de los granos con las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el transporte,

debido a posibles daños en los empaques pero también asociado a la naturaleza de las variaciones de la temperatura y la humedad relativa (Borém et al., 2013). Las interacciones del grano con las condiciones ambientales que conlleva al aumento del contenido de agua durante el almacenamiento produce cambios indeseables en la composición físico-química de los granos (Ribeiro et al., 2011). Anokye-Bempah et al. (2023) reportan incrementos en el contenido de humedad del grano con valores desde $10,76 \pm 0,2\%$ ($A_w = 0,57$) hasta $17,34 \pm 0,6\%$ en el café empacado en sacos de yute.

El valor inicial promedio de actividad de agua de los granos de café antes de iniciar el almacenamiento secundario fue de 0,6243. El promedio de las muestras a

los 30, 60 y 90 días fue de 0,6207, 0,6256 y 0,6230, respectivamente. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 0,6114, 0,6142 y 0,6157; para el sitio CF (Cuarto frío) evidenció valores de 0,6085, 0,6178 y 0,6128; el sitio NA presentó valores de 0,6221, 0,6235 y 0,6204 y el sitio SM los valores medios más altos de 0,6410, 0,6469 y 0,6431. Aunque se observa un aumento en las muestras provenientes del sitio SM (Santa Marta) no se observan datos ($>0,7$) que sugieran condiciones que incrementarían la dinámica poblacional fúngica favoreciendo la producción de OTA en el grano de café. Elevadas temperaturas, humedad relativa y disminución de los azúcares reductores se relacionan con el desarrollo de las poblaciones fúngicas y durante este proceso la sacarosa presente en el grano puede hidrolizarse para producir azúcares reductores (Iamanaka et al., 2014; Maman et al., 2021; Palareti et al., 2016).

Colorimetría. El valor mínimo de la coordenada L* fue 69,24 y se presentó en la muestra proveniente del sitio de

almacenamiento CF (cuarto frío) en el tercer mes de almacenamiento secundario, mientras que el máximo valor de esta misma coordenada se observó en la muestra proveniente del sitio SM (Santa Marta) en el tercer mes de almacenamiento secundario con un valor de 80,93. Los valores de la coordenada a* mostraron su valor máximo de -1,90 en el segundo mes en la muestra proveniente de Santa Marta y el valor mínimo de -2,63 en el primer mes en NA (Chinchiná). Para la coordenada de color b* el mayor valor se reportó en la muestra del sitio SM (Santa Marta) en el primer mes de almacenamiento secundario con 16,00 y el menor en CF en el mes inicial. Al igual que en el almacenamiento primario las condiciones ambientales de SM generaron mayores cambios en los valores de las coordenadas de color L* y b*, que pueden relacionarse con el blanqueamiento y amarilleamiento de los granos (Figura 4). Anokye-Bempah et al. (2023), reportan blanqueamiento en café empacado en sacos de yute aun con el uso de desecantes, con aumentos de los valores de L* de 51 y 52, respectivamente, al final del experimento.

	<i>Tiempo (0)</i>			<i>30 días</i>			<i>60 días</i>			<i>90 días</i>		
<i>Letras (LT)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	73,84	-2,00	12,17	74,53	-2,58	12,56	72,62	-2,19	12,15	75,84	-2,54	12,69
<i>Cuarto frío (CF)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	72,90	-2,51	12,07	73,06	-2,51	12,36	74,25	-2,29	12,51	69,24	-2,60	12,81
<i>Chinchiná (NA)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	75,65	-2,46	12,91	76,82	-2,63	13,35	76,75	-2,27	13,43	75,98	-2,47	12,57
<i>Santa Marta (SM)</i>	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:	L*:	a*:	b*:
	79,02	-2,22	15,26	80,70	-2,36	16,00	80,15	-1,90	15,69	80,93	-2,28	14,41

Figura 4. Colorimetría del café durante el almacenamiento secundario.

Calidad sensorial. Al finalizar el almacenamiento primario (tiempo cero del secundario) el 72,91% de las muestras no presentaron defecto sensorial, pero este porcentaje fue disminuyendo en los tres tiempos de muestreo posteriores (30, 60 y 90 días) a valores de 45,83%, 41,66% y 33,33% respectivamente. Los defectos sensoriales predominantes fueron el terroso y el reposo que iniciaron con porcentajes de 4,16% y 22,91% y finalizaron con valores de 25,00% y 41,67% en el almacenamiento secundario, respectivamente. Los cambios en las características sensoriales se deben generalmente a la pérdida de compuestos aromáticos clave y a la aparición de productos de oxidación derivados de la degradación de lípidos con formación de peróxidos que provocan sabores desagradables (Giulia et al., 2023).

Las muestras de café almacenadas en CF conservaron su calidad inicial de la siguiente manera: Café sin defecto sensorial durante 60 días de almacenamiento primario y hasta 60 días de almacenamiento secundario y almacenamiento primario de 120 días y 90 días de almacenamiento secundario.

En el almacenamiento primario de 240 días y posterior a los 60 días almacenamiento secundario el 100% de las muestras presentaron defectos sensoriales.

Las muestras almacenadas primariamente en LT (Letras) no presentaron defectos sensoriales hasta los 365 días de almacenamiento. En este mismo sitio el total de las muestras no presentaron defectos en el almacenamiento secundario (hasta 90 días) en las muestras provenientes de los tiempos 120 y 240 días de almacenamiento primario. Un

comportamiento diferente se presentó en las muestras provenientes de los cuatro tiempos de almacenamiento primario en SM, el café almacenado 60 días en Santa Marta y posterior apertura del empaque para el almacenamiento secundario, desde los 30 días se incrementan los defectos y se presentan 100% de defectos sensoriales en las muestras a partir de 60 días de almacenamiento inicial y 90 días de almacenamiento posterior. Este comportamiento es similar para las muestras con almacenamiento primario en NA, a partir del tiempo primario de almacenamiento 120 días y secundario de 90 días, el 100% de las muestras provenientes de este sitio NA (Chinchiná) presentaron defecto. La aparición de defectos sensoriales en los diferentes tiempos del almacenamiento secundario es variable pues depende de los cambios sufridos por el grano durante las condiciones iniciales de almacenamiento primario. La hidrólisis de los triacilglicérols durante el almacenamiento del café libera ácidos grasos (AG) que se oxidan en presencia de oxígeno, dando lugar a otros compuestos volátiles como los aldehídos, asociados a un sabor y aroma desagradables. Sin embargo, la liberación de AG no es uniforme y la degradación difiere entre los ácidos (Coradi et al., 2007).

En cuanto a las variables sensoriales, se tienen la fragancia y el sabor como las variables que tienen un grado más alto de relación con el puntaje total SCA (Tabla 4). De acuerdo con los resultados, a más fragancia y sabor, mayor será el puntaje otorgado a la muestra. La Tabla 5 presenta los estadísticos descriptivos de la fragancia y el sabor de las muestras en las dos localidades más contrastantes (Letras LT y Santa Marta SM), en cada uno de los tiempos de evaluación.

Tabla 3. Puntaje total SCA durante el almacenamiento de muestras de café empacadas al vacío. *Alto de Letras (Manizales) (LT), cuarto frío (Cenicafé) (CF), Chinchiná (NA) y Santa Marta (SM).*

Sitio	Tiempo de almacenamiento primario (Días)	Tiempo de almacenamiento secundario (Días)	Promedio puntaje total SCA	Muestras sin defecto (%)
CF	60	0	81,17	100
		30	81,25	100
		60	80,89	100
		90	80,72	67
	120	0	80,17	100
		30	80,27	100
		60	81,75	100
		90	80,17	100
	240	0	80,69	100
		30	80,50	33
	365	0	81,50	33
	LT	60	0	80,64
30			81,25	100
60			81,72	100
90			80,25	67
120		0	80,25	100
		30	79,86	100
		60	81,42	100
		90	80,73	100
240		0	80,44	100
		30	80,19	100
		60	80,23	100
		90	80,15	100
365	0	81,42	100	
NA	60	0	81,56	100
		30	81,11	100
		60	80,25	100

Continúa...

...continuación.

Sitio	Tiempo de almacenamiento primario (Días)	Tiempo de almacenamiento secundario (Días)	Promedio puntaje total SCA	Muestras sin defecto (%)
NA	60	90	81,21	100
		0	80,61	100
	120	30	80,06	33
		60	80,17	33
	240	0	81,50	100
SM	60	0	81,22	100
		30	80,75	67
	120	60	80,08	33
		0	80,83	33

Tabla 4. Correlación entre atributos sensoriales fragancia y sabor con puntaje total de la muestra.

Variable sensorial	Correlación con puntaje
Fragancia (FRA)	0,75
Sabor (SAB)	0,99

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de fragancia y sabor.

Sitio	Tiempo 1 (Días)	Tiempo 2 (Días)	Fragancia			Sabor		
			Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
LT	60	0	7,42	7,33	7,50	7,19	7,08	7,25
		30	7,42	7,33	7,50	7,28	7,25	7,33
		60	7,42	7,25	7,58	7,31	7,17	7,50
		90	7,29	7,25	7,38	6,73	6,00	7,19
	120	0	7,42	7,33	7,50	7,19	7,17	7,25
		30	7,28	7,00	7,50	7,13	7,06	7,17

Continúa...

...continuación.

Sitio	Tiempo 1 (Días)	Tiempo 2 (Días)	Fragancia			Sabor			
			Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	
LT	120	60	7,47	7,42	7,50	7,25	7,17	7,33	
		90	7,35	7,31	7,44	7,21	7,13	7,25	
	240	0	7,42	7,25	7,58	7,17	7,17	7,17	
		30	7,35	7,25	7,42	7,05	7,00	7,08	
		60	7,31	7,19	7,38	7,15	7,06	7,31	
		90	7,29	7,25	7,31	7,06	7,00	7,13	
	365	0	7,47	7,33	7,67	7,25	7,08	7,42	
		30	6,75	6,56	7,00	6,00	6,00	6,00	
		60	6,42	6,00	6,70	6,00	6,00	6,00	
		90	6,42	6,00	6,70	6,00	6,00	6,00	
	SM	60	0	7,47	7,42	7,50	7,22	7,17	7,33
			30	7,44	7,42	7,50	6,81	6,00	7,33
60			7,17	6,67	7,50	6,39	6,00	7,17	
90			6,65	6,25	7,13	6,00	6,00	6,00	
120		0	7,17	7,08	7,33	6,39	6,00	7,17	
		30	6,67	6,25	7,25	6,00	6,00	6,00	
		60	6,69	6,42	7,17	6,00	6,00	6,00	
		90	6,60	6,25	7,06	6,00	6,00	6,00	
240		0	6,94	6,67	7,33	6,00	6,00	6,00	
		30	6,27	6,00	6,56	6,00	6,00	6,00	
		60	6,56	6,25	6,88	6,00	6,00	6,00	
		90	6,50	6,25	6,75	6,00	6,00	6,00	
365	0	6,14	6,00	6,42	6,00	6,00	6,00		
	30	6,07	6,00	6,20	6,00	6,00	6,00		
	60	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00		
	90	6,33	6,00	7,00	6,00	6,00	6,00		

Composición química. Los contenidos de lípidos presentaron incrementos entre el tiempo inicial y los 90 días de almacenamiento secundario con valores de 11,22%, 11,17%, 11,70% y 12,25% en los sitios CF, LT, NA y SM, con valores finales de 11,54%, 11,37%, 11,69% y 12,64%, respectivamente. Los lípidos contribuyen a la calidad de la bebida al influir en la viscosidad, la sensación en boca (cremosidad), aspecto y sabor.

El ácido palmítico presentó un valor promedio inicial de 39,62% en CF, de 39,71% en LT, de 39,57% en NA y de 40,07% en SM, presentando ligeras disminuciones en el tiempo de 90 días en el almacenamiento secundario. El ácido graso linoleico presentó el mayor valor promedio en el tiempo cero (0) del sitio CF con un valor de 35,49%, mientras que el valor promedio mínimo se presentó en el tiempo de almacenamiento de 60 días en SM. El menor valor promedio de ácido oleico (9,97%), se observó en el sitio SM a los 90 días. El mayor valor promedio de ácido esteárico (7,11%), se observó en el sitio SM en el tiempo inicial (0). Los valores finales (90 días) del ácido araquídico fueron 2,51% (CF), 2,36% (LT), 2,39% (NA) y 2,34% (SM). Aung Moon et al. (2022), evidencian cambios en las propiedades químicas de la fracción lipídica del grano asociado al almacenamiento, oscilando entre el 8,42% y el 13,82% (b.s). Los ácidos grasos insaturados (AGI), entre los que se encuentran los ácidos linoleico y oleico, hacen parte de los más prevalentes en las muestras evaluadas, 34,31% y 10,68%, respectivamente, y juntos se encuentran en mayor proporción que el ácido graso saturado (AGS), el ácido palmítico (39,30%). Aung Moon et al. (2022), reportan disminuciones de los AG durante el almacenamiento y entre más prolongado dieron mayores reducciones de los ácidos grasos esteárico, oleico y

linoleico, con aumento de los ácidos palmítico y araquídico. Estos mayores contenidos de AGS proporcionaron una acidez, fragancia, cuerpo y sabor menos intensos.

La sacarosa presentó valores iniciales promedio de 7,65%, 7,50%, 7,51% y 7,63% en los sitios CF, LT, NA y SM, respectivamente. Las concentraciones de glucosa y fructosa están fuertemente influenciadas por el tipo de procesamiento poscosecha, pero durante el almacenamiento, contenidos relativamente altos de glucosa presentes en el café verde disminuyen notablemente (Selmar et al., 2008). El contenido de cafeína varió entre 1,15% y 1,37%, mientras que la trigonelina entre 0,83% y 0,98%. Por su parte, los ácidos clorogénicos totales (CQA) presentaron valores promedio iniciales de 5,66% en CF, 5,65% en LT, 5,59% en NA y 5,65% en SM. Giulia et al. (2023) evaluaron el almacenamiento prolongado bajo una humedad relativa del 75% en comparación con el 65% en envases ecológicos, los resultados mostraron una estabilidad relativa de las fracciones fenólicas y alcaloides, aunque los isómeros CQA se comportan de forma diferente y se observa una disminución de la cafeína y el ácido cafeico.

A partir del análisis de correlaciones entre las variables químicas y el puntaje total SCA de las muestras se determinaron los compuestos con mayor relación lineal estadística con respecto al puntaje del catador (Tabla 6). Dado que los compuestos más relacionados con el puntaje total del catador son el ácido graso linoleico, la trigonelina y los lípidos, se presentan los estadísticos descriptivos de estos compuestos para cada uno de tiempos de almacenamiento en las dos localidades Letras (LT) y Santa Marta (SM) por ser las más contrastantes en los resultados (Tabla 7).

Tabla 6. Correlación entre compuesto químico y puntaje total SCA de la muestra.

Compuesto	Correlación con puntaje
Ácido graso linoleico (LIN)	0,40
Trigonelina (TRG)	-0,51
Lípidos (LIP)	-0,53

Estimación de la vida útil secundaria

En las muestras provenientes del almacenamiento primario en CF (Cuarto frío) con tiempo inicial de 60 y 120 días de almacenamiento primario y en dos muestreos de almacenamiento secundario (30 y 60 días después de perdido el vacío), no se presentaron defectos sensoriales en la bebida. Un comportamiento contrario se observó en las muestras de 365 días de almacenamiento primario, donde en los tres muestreos secundarios, el 100% de las muestras presentaron defecto reposo. En el sitio LT (Letras), al evaluar las muestras provenientes de los diferentes tiempos de almacenamiento primario 60, 120 y 240 y con almacenamiento secundario a los 30, 60 y 90 días, no se evidenciaron defectos sensoriales. Esto es contrario a lo encontrado en las muestras provenientes del cuarto muestreo de almacenamiento primario (365 días), donde en el tiempo cero del almacenamiento secundario, el 100% de las muestras presentaban defecto sensorial. Borém et al. (2021), reportan estudios donde concluyen que las bolsas herméticas son capaces de conservar la calidad del café verde hasta siete meses de almacenamiento, pero sin diferencia estadística entre los tipos de bolsas (dos o tres capas).

Las muestras almacenadas inicialmente por 60 días en el sitio NA (Chinchiná), durante el almacenamiento secundario hasta los 90

días, no presentaron defectos sensoriales. Por otro lado, las provenientes de 240 y 365 días de almacenamiento inicial, desde el día cero de almacenamiento secundario, el 100% de las muestras tenían defecto sensorial. Por su lado, en el sitio SM (Santa Marta) las muestras provenientes de los tiempos iniciales de almacenamiento de 120, 240 y 365 días, en el tiempo cero, es decir, antes de iniciar el almacenamiento secundario, ya presentaban el defecto reposo. Se observa que el café proveniente de cuarto frío (CF) y Letras (LT) tendría una vida útil total superior en comparación con el proveniente de Santa Marta (SM), debido a las condiciones más favorables para la conservación de las características de calidad en estos dos sitios (Figura 5).

En la Tabla 8, descriptivamente se observa que de forma general el puntaje obtenido después del almacenamiento secundario tiende a ser menor a medida que el tiempo de almacenamiento es mayor. Este tipo de tendencia es más evidente en la localidad Santa Marta (SM) donde las muestras que estuvieron almacenadas inicialmente por 60 días fueron valoradas con 81,2 puntos en promedio y al pasar a un segundo período de almacenamiento el puntaje fue bajando hasta obtener 53,6 puntos en promedio, cuando el segundo tiempo de almacenamiento fue de 90 días.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de compuestos químicos.

Sitio	Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Ácido graso linoleico			Trigonelina			Lípidos		
			Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)
LT	60	0	35,19	35,71	34,26	0,78	0,74	0,83	11,19	10,93	11,51
		30	34,77	35,25	34,01	0,84	0,83	0,86	10,58	10,06	10,88
		60	35,08	35,79	34,24	0,88	0,83	0,93	11,41	11,07	11,85
		90	35,86	36,44	35,39	0,84	0,80	0,88	11,29	11,15	11,55
	120	0	34,63	34,92	34,12	0,87	0,83	0,90	11,34	11,04	11,64
		30	35,95	36,30	35,66	0,84	0,83	0,86	11,09	10,67	11,30
		60	36,65	37,86	35,74	0,84	0,80	0,87	11,06	10,65	11,52
		90	36,77	37,35	36,26	0,88	0,84	0,90	11,28	10,92	11,66
	240	0	37,49	37,95	37,23	0,81	0,78	0,85	11,00	10,57	11,42
		30	33,61	33,69	33,56	0,88	0,85	0,94	11,30	10,94	11,91
		60	33,19	33,86	32,75	0,85	0,82	0,88	11,37	11,26	11,56
		90	32,53	33,05	31,50	0,86	0,82	0,91	11,38	11,01	11,85
	365	0	34,37	34,57	34,05	0,85	0,83	0,89	11,17	11,13	11,25
		30	33,88	34,05	33,70	0,87	0,85	0,90	11,37	11,07	11,54
		60	33,40	34,05	32,83	0,88	0,86	0,91	11,57	11,02	11,86
		90	36,64	37,01	36,26	0,82	0,79	0,87	11,53	11,21	11,72

Continúa...

...continuación.

Sitio	Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Ácido graso linoleico			Trigonelina			Lípidos		
			Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)
SM	60	0	36,16	37,58	34,98	0,80	0,78	0,83	11,12	10,82	11,26
		30	33,70	34,09	33,37	0,90	0,88	0,91	11,73	11,12	12,14
		60	33,97	34,95	32,51	0,91	0,88	0,94	11,63	11,58	11,73
		90	35,37	35,69	34,76	0,88	0,87	0,88	11,30	10,96	11,86
	120	0	34,49	34,95	33,69	0,95	0,94	0,96	11,51	10,99	11,78
		30	34,56	34,75	34,33	0,94	0,92	0,97	11,67	11,44	11,92
		60	35,15	35,55	34,39	0,96	0,94	0,99	11,92	11,49	12,40
		90	36,08	37,01	35,48	0,93	0,87	0,96	11,76	11,33	12,30
	240	0	35,62	36,99	34,59	0,99	0,91	1,03	12,53	12,20	13,14
		30	31,17	31,27	30,99	1,00	0,98	1,04	13,38	13,05	13,67
		60	29,96	30,54	28,95	1,03	1,00	1,06	13,45	12,82	13,86
		90	30,63	32,55	28,59	0,98	0,93	1,02	13,18	12,97	13,33
	365	0	31,22	31,89	30,26	1,05	1,04	1,07	13,83	13,35	14,07
		30	30,81	31,16	30,14	1,08	1,06	1,09	14,10	13,87	14,34
		60	30,39	30,72	30,02	1,10	1,08	1,12	14,37	14,10	14,61
		90	33,98	34,25	33,48	1,11	1,10	1,13	14,32	13,78	14,70

Tabla 8. Puntaje total SCA al final del almacenamiento secundario.

Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Tiempo total de almacenamiento (Días)	Letras (LT)	Cuarto frío (CF)	Santa Marta (SM)
			Puntaje promedio	Puntaje promedio	Puntaje promedio
60	0	60	80,6	81,2	81,2
	30	90	81,3	81,3	72,0
	60	120	81,7	80,9	62,3
	90	150	71,6	71,6	53,6
120	0	120	80,3	80,2	62,8
	30	150	79,9	80,3	53,7
	60	180	81,4	81,8	53,7
	90	210	80,7	80,2	53,6
240	0	240	80,4	80,7	53,9
	30	270	80,2	62,8	53,3
	60	300	80,2	53,8	53,6
	90	330	80,1	53,6	53,5
365	0	365	81,4	63,5	53,1
	30	395	53,8	54,1	53,1
	60	425	53,5	53,4	53,0
	90	455	53,5	53,4	53,3

De forma general, se observó el comportamiento de la calidad de la muestra a través del tiempo, a partir del puntaje total SCA. El café que fue almacenado inicialmente por 60 días, puede permanecer hasta 60 días en almacenamiento secundario y alcanzar un puntaje SCA promedio mayor a 80 puntos, excepto en Santa Marta, donde se observa el deterioro inmediato de la calidad tras un mes de almacenamiento secundario (90 días totales), alcanzando un puntaje inferior a 75 puntos. En las localidades

Letras, cuarto frío y Naranjal se observa que todas las muestras almacenadas inicialmente hasta 240 días obtuvieron puntajes superiores a 80 puntos SCA, en promedio. En la Figura 5 se muestra que los puntajes SCA promedio por encima de 70 puntos en todas las localidades, excepto Santa Marta, pueden obtenerse en un tiempo total de almacenamiento máximo alrededor de 240 días. La localidad Santa Marta presenta resultados contrastantes con respecto a los demás sitios de almacenamiento.

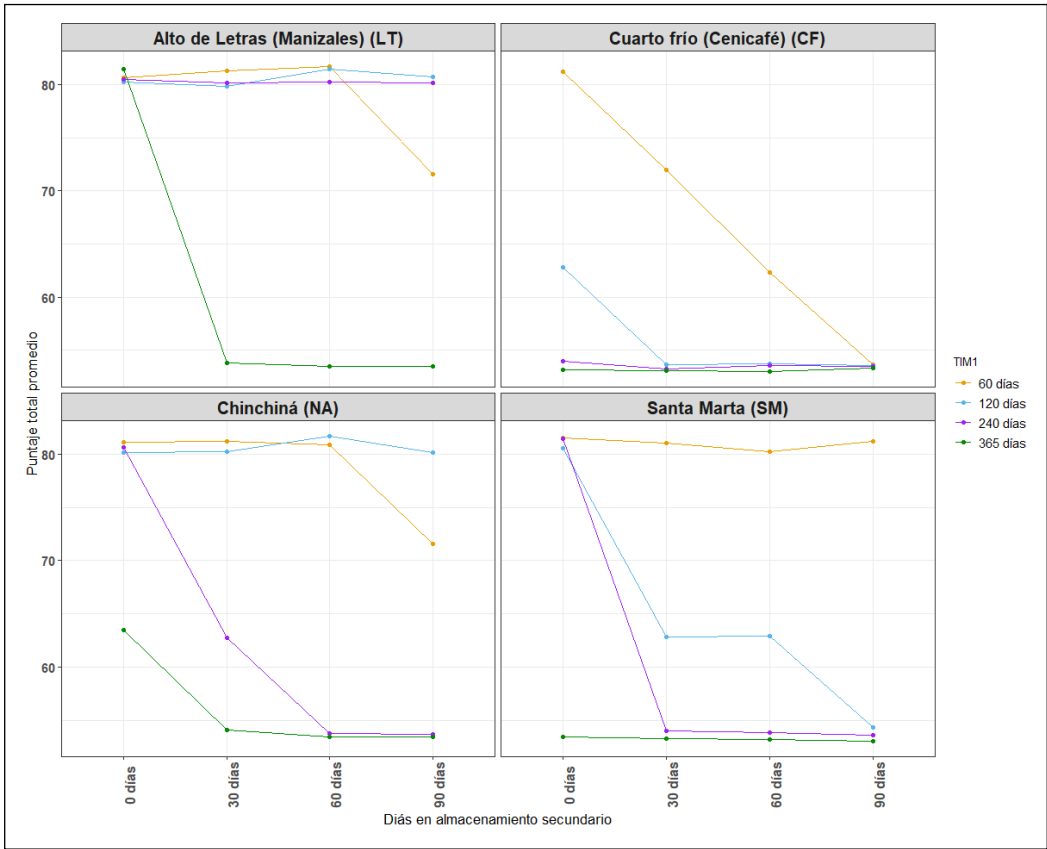


Figura 5. Puntaje total SCA promedio obtenido por las muestras en cada una de las localidades durante el almacenamiento secundario.

Puede concluirse que:

El empaque al vacío se configura como una opción de alta barrera para proteger el café verde de las variaciones de la humedad relativa, evitando incrementos en el contenido de humedad del grano, dada su naturaleza higroscópica, que favorece el intercambio de vapor de agua con el ambiente circundante. Aunque se observó un incremento del contenido de humedad desde el 11,90% hasta valores del 12,50% y de actividad de agua de 0,6146 hasta 0,6709 en los sitios de almacenamiento con mayores temperaturas (T) y humedad relativa

(HR), es evidente el efecto del empaque de alta barrera al vapor de agua desempeña un papel definitivo en la conservación de la humedad, aun en condiciones de alta humedad relativa del ambiente como es Santa Marta (81%).

Las condiciones de almacenamiento definen las respuestas físico-químicas del grano; es así como el almacenamiento primario, bajo condiciones ambientales de SM, generó mayores cambios en los valores de las coordenadas de color L^* y b^* , que pueden relacionarse con el blanqueamiento y amarilleamiento de los granos. El valor máximo promedio de L^*

fue de 83,93 y se encontró en Santa Marta a los 365 días de almacenamiento; mayores temperaturas de almacenamiento favorecen mayores diferencias entre los valores iniciales y finales de L^* (blanco). La alta temperatura también puede ser la respuesta a la aparición más temprana de defectos sensoriales como el reposo. El sitio SM tiene mayor temperatura promedio (28,0 °C) en comparación con la temperatura promedio del sitio LT (10,3 °C). En el sitio SM, a partir de los 120 días, se observó el incremento del porcentaje de muestras con defectos sensoriales con 66,66% y a partir de los 240 el 100%; caso contrario a lo encontrado para el sitio de almacenamiento LT (Letras), donde la calidad sensorial se conservó sin presentar defectos sensoriales, durante los 365 días de almacenamiento primario.

Las variaciones en la aparición de defectos sensoriales de las muestras de café verde en el almacenamiento secundario dependen de los cambios sufridos en el grano por las condiciones iniciales de almacenamiento primario, es decir, un café empacado al vacío no está aislado de las fluctuaciones de la temperatura, lo que indica que mayores temperaturas en el almacenamiento primario tendrán efecto en el inicio de las reacciones químicas que conllevan a la pérdida de compuestos precursores de aroma y sabor característicos del café y a la generación de aquellos relacionados con el deterioro del grano, como el sabor a madera y tierra; defectos desarrollados durante el almacenamiento. Al finalizar el almacenamiento primario (tiempo cero del secundario) el 72,91% de las muestras no presentaron defectos sensoriales, pero este porcentaje fue disminuyendo en los tres tiempos de muestreo posteriores (30, 60 y 90 días) a valores de 45,83%, 41,66%

y 33,33%, respectivamente. En el sitio SM la totalidad de las muestras presentaron defectos sensoriales desde los 60 días de almacenamiento primario, independientemente del tiempo de almacenamiento secundario.

Se utilizó el análisis de riesgo y la distribución de probabilidad de Weibull y la evaluación sensorial de las características sensoriales del café para evaluar la pérdida de calidad durante el almacenamiento y predecir la vida útil del café. Por medio de este análisis se estimó una SL, para para el café empacado al vacío y almacenado en condiciones de $T=20^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=80\%$ (SM), de 248 días. Un mayor tiempo de SSL en los sitios LT y CF está asociado a condiciones más favorables para la conservación de las características de calidad en estos, por tener menores temperaturas de almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

A Fernando Osorio Rodríguez de Almacafé, Paola Calderón, Wilson Vargas y Víctor Castañeda de la Disciplina de Calidad y a Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y John Félix Trejos del equipo de la Disciplina de Experimentación. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), código CAL103004.

Contribuciones de los Autores: Conceptualización, metodología, curación de datos, redacción-borrador original, análisis: V.O.P.; Análisis y metodología: C.P.G. y B.E.M.; Redacción- revisión y edición: V.O.P, J.P.U., C.P.G., B.E.M y C.R.G. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Abreu, G., Rosa, S., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Clemente, A., & Borém, F. M. (2017). Simultaneous optimization of coffee quality variables during storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(1), 56–60. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p56-60>
- Abreu, G. F., Borém, F. M., Oliveira, L. F. C., Almeida, M. R., & Alves, A. P. C. (2019). Raman spectroscopy: A new strategy for monitoring the quality of green coffee beans during storage. *Food Chemistry*, 287, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.019>
- Abreu, G. F., Rosa, S. D. V. F., Coelho, S. V. B., Pereira, C. C., Malta, M. R., Fantazzini, T. B., & Vilela, A. L. (2023). Influence Of Hulling And Storage Conditions On Maintaining Coffee Quality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95(4), e20190612. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320190612>
- Anokye-Bempah, L., Han, J., Kornbluth, K., Ristenpart, W., & Donis-González, I. R. (2023). The use of desiccants for proper moisture preservation in green coffee during storage and transportation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100478. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100478>
- Aung Moon, S., Wongsakul, S., Kitazawa, H., & Saengrayap, R. (2022). Lipid Oxidation Changes of Arabica Green Coffee Beans during Accelerated Storage with Different Packaging Types. *Foods*, 11(19), 3040. <https://doi.org/10.3390/foods11193040>
- Borém, F. M., Abreu, G. F. D., Alves, A. P. D. C., Santos, C. M. D., & Teixeira, D. E. (2021). Volatile compounds indicating latent damage to sensory attributes in coffee stored in permeable and hermetic packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2021.100705>
- Borém, F. M., Matias, G. C., Alves, A. P. C., Haeblerlin, L., Santos, C. M. D., & Rosa, S. D. V. F. D. (2023). Effect of storage conditions on the chemical and sensory quality of pulped natural coffee. *Journal of Stored Products Research*, 104, 102183. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102183>
- Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Fortunato, V. A., & Isquierdo, E. P. (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, 52, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>
- Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Siqueira, V. C., & Dias, C. A. (2019). Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4101–4109. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03879-3>
- Cardelli, C., & Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT—Food Science and Technology*, 34(5), 273–278. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>
- Coradi, P. C., Borém, F. M., Saath, R., & Marques, E. R. (2007). Effect of Drying and Storage Conditions on the Quality of washed coffee. *Coffee Science*, 2(1), 38–47. <https://coffeescience.ufpa.br/index.php/Coffeescience/article/view/37>
- Demianova, A., Bobkova, A., Polakova, K., Jurcaga, L., Bobko, M., Lidikova, J., Mesarosova, A., Belej, E., & Bucko, O. (2023). Moisture content and its possible effect on textural properties and color of green coffee arabica. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 12(5), e9491. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9491>
- Donovan, N. K., Foster, K. A., & Parra Salinas, C. A. (2019). Analysis of green coffee quality using hermetic bag storage. *Journal of Stored Products Research*, 80, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.003>
- Fu, B., & Labuza, T. P. (1997). Shelf-Life Testing: Procedures and Prediction Methods. En M. C. Erickson & Y.-C. Hung (Eds.), *Quality in Frozen Foods* (pp. 377–415). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5975-7_19
- Giulia, S., Eloisa, B., Giulia, R., Gloria, P., Carlo, B., & Erica, L. (2023). Evaluation of the behaviour of phenols and alkaloids in samples of roasted and ground coffee stored in different types of packaging: Implications for quality and shelf life. *Food Research International*, 174, 113548. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113548>
- Gómez, C. R., Gallego, C. P., Echeverri, L. F., Pabón, J., Ortiz, A., & Osorio, V. (2023). Determinación de compuestos químicos del café tostado por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS). *Revista Cenicafé*, 74(1), e74104. <https://doi.org/10.38141/10778/74104>
- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by

- fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, *64*, 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 6673:2003—*Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. (2020). The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *European Food Research and Technology*, *246*(1), 33–39. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9>
- Maman, M., Sangchote, S., Piasai, O., Leesutthiphonchai, W., Sukorini, H., & Khewkhom, N. (2021). Storage fungi and ochratoxin A associated with arabica coffee bean in postharvest processes in Northern Thailand. *Food Control*, *130*, 108351. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108351>
- Orfanou, F., Dermesonlouoglou, E. K., & Taoukis, P. S. (2019). Greek Coffee Quality Loss During Home Storage: Modeling the Effect of Temperature and Water Activity. *Journal of Food Science*, *84*(10), 2983–2994. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14756>
- Palacios-Cabrera, H. A., Menezes, H. C., Iamanaka, B. T., Canepa, F., Teixeira, A. A., Carvalhaes, N., Santi, D., Leme, P. T. Z., Yotsuyanagi, K., & Taniwaki, M. H. (2007). Effect of Temperature and Relative Humidity during Transportation on Green Coffee Bean Moisture Content and Ochratoxin A Production. *Journal of Food Protection*, *70*(1), 164–171. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.1.164>
- Palareti, G., Legnani, C., Cosmi, B., Antonucci, E., Erba, N., Poli, D., Testa, S., & Tosetto, A. (2016). Impact of storage conditions on fungal community composition of green coffee beans *Coffea arabica* L. stored in jute sacks during one year. *International Journal of Laboratory Hematology*, *38*(1), 42–49. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>
- Rendón, M. Y., De Jesus Garcia Salva, T., & Bragagnolo, N. (2014). Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chemistry*, *147*, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.123>
- Ribeiro, F. C., Borém, F. M., Giomo, G. S., De Lima, R. R., Malta, M. R., & Figueiredo, L. P. (2011). Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. *Journal of Stored Products Research*, *47*(4), 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.05.007>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols. Protocols & Best Practices*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Selmar, D., Bytof, G., & Knopp, S.-E. (2008). The Storage of Green Coffee (*Coffea arabica*): Decrease of Viability and Changes of Potential Aroma Precursors. *Annals of Botany*, *101*(1), 31–38. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm277>
- Toci, A. T., Neto, V. J. M. F., Torres, A. G., & Farah, A. (2013). Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. *LWT—Food Science and Technology*, *50*(2), 581–590. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.007>
- Tripetch, P., & Borompichaichartkul, C. (2019). Effect of packaging materials and storage time on changes of colour, phenolic content, chlorogenic acid and antioxidant activity in arabica green coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor). *Journal of Stored Products Research*, *84*, 101510. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101510>
- Zarebska, M., Stanek, N., Barabosz, K., Jaskiewicz, A., Kulesza, R., Matejuk, R., Andrzejewski, D., Bilos, L., & Porada, A. (2022). Comparison of chemical compounds and their influence on the taste of coffee depending on green beans storage conditions. *Scientific Reports*, *12*(1), 2674. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06676-9>